

## مدل‌سازی چندهدفه سفارش هم‌زمان اقلام و انتخاب تامین‌کننده در شرایط فازی با رویکردهای اوزان معکوس و برنامه‌ریزی آرمان

بهنام جلالت<sup>۱</sup>، داود محمدی تبار<sup>۲\*</sup>

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی صنایع، واحد تهران جنوب، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

۲- استادیار، دانشکده مهندسی صنایع، واحد تهران جنوب، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

رسید مقاله: ۱۴۰۰ آذر

پذیرش مقاله: ۱۹ اردیبهشت ۱۴۰۱

### چکیده

انتخاب تامین‌کننده نقش مهمی در موقوفیت کل زنجیره تامین دارد و ارتباط نزدیک آن با تصمیمات کنترل موجودی منجر به تصمیم‌گیری یکپارچه این دو حوزه شده است. با توجه به این که در کاربردهای واقعی عموماً با چندین قلم کالا مواجه هستیم سفارش دهی هماهنگ اقلام برای مدیریت موجودی موردنویجه قرار گرفته است. در این مقاله، مدل‌سازی و حل مساله چند هدفه انتخاب تامین‌کننده و سفارش هم‌زمان اقلام در شرایط فازی ارایه شده است. اهداف مدل عبارت‌اند از کمینه‌سازی هزینه‌هایی از قبیل سفارش دهی، خرید، نگهداری و خرابی به همراه یکی‌سازی مطلوبیت خرید در شرایط فازی. مساله با استفاده از دو رویکرد چند هدفه فازی بر اساس روش‌های برنامه‌ریزی غیرخطی فازی وزن معکوس و برنامه‌ریزی فازی آرمان مدل‌سازی شده است. نتایج دو رویکرد از طریق حل مثال عددی در نرم‌افزار گمز تشریح شده است. مقایسه دو رویکرد بر اساس شاخص نسبت میزان عضویت اهداف به اولویت وزنی نشان داد که روش اوزان معکوس عملکرد نسبتاً بهتری در مقایسه با روش برنامه‌ریزی آرمان دارد. براساس تحلیل حساسیت نتایج، افزایش هزینه عمدۀ سفارش موجب افزایش زمان سیکل پایه و نزدیک‌تر شدن ضرایب سیکل اقلام می‌شود. بنابراین هرچه هزینه عمدۀ سفارش بزرگ‌تر باشد توجیه اقتصادی بیشتری در سفارش هم‌زمان اقلام وجود دارد.

**کلمات کلیدی:** سفارش هم‌زمان اقلام، انتخاب تامین‌کننده، بهینه‌سازی فازی، تصمیم‌گیری چندهدفه.

### ۱ مقدمه

در عمل و در بسیاری از شرکت‌ها مدیریت مستقل تعداد زیاد اقلام مقرر به صرفه نیست و از طرف دیگر وابستگی‌های متعددی میان تصمیمات موجودی اقلام وجود دارد. یکی از رویکردهای مهم مدل‌سازی برای مدیریت اقلام متعدد موجودی، مساله سفارش هم‌زمان اقلام است. در این رویکرد هزینه‌های سفارش دهی به دو

\* عهده‌دار مکاتبات

آدرس الکترونیکی: d\_mohammaditabar@azad.ac.ir

دسته هزینه عمدہ و هزینه جزیی سفارش تقسیم‌بندی می‌شود. هزینه عمدہ سفارش میان اقلام موجود در یک سفارش مشترک است و به همین سبب اگر تعداد بیشتری از اقلام هم‌زمان سفارش داده شوند موجب صرفه‌جویی در هزینه‌های سفارش‌دهی عمدہ می‌شود [۱]. در صورتی که هزینه جزیی سفارش به ازای هر نوع قلم کالایی که در یک سفارش قرار دارد محاسبه می‌شود. در مدل‌سازی سفارش هم‌زمان اقلام، مشخص می‌شود که کدام اقلام باید با هم سفارش داده شوند و همچنین اندازه سفارش آنها چقدر باید باشد. مساله JRP یک رویکرد پرکاربرد برای مدیریت اقلام متعدد موجودی است و در حالت کلاسیک به صورت تک منبع توسعه یافته است.

اثرات متقابل میان تصمیمات مدیریت موجودی و انتخاب تامین کننده، زمینه‌ساز تحقیقات زیادی در زمینه مدل‌سازی یکپارچه این دو حوزه شده است. از این رو در مقالات متعددی تلاش شده است که مدل‌های مختلف کنترل موجودی که در گذشته به صورت تک منبع مدل‌سازی می‌شده‌اند را در حالت چند تامین کننده مدل‌سازی و حل کنند. از جمله تصمیماتی که باید اتخاذ شود عبارت است از انتخاب تامین کننده، تخصیص سفارش، تعیین اندازه انباسته و زمان‌بندی سفارش‌ها.

از طرفی در استراتژی‌های جدید خرید و تولید، تامین کنندگان نقش کلیدی در دستیابی به موفقیت رقابتی شرکت‌ها و سازمان‌ها بازی می‌کنند و ارزیابی و انتخاب صحیح تامین کنندگان سهم فراوانی در کاهش ریسک‌های مرتبط با امین، افزایش سطح کیفی و کاهش زمان تحویل کالاهای مورد امین ایفا می‌نماید. از این‌رو انتخاب درست تامین کنندگان، جزء اساسی این استراتژی‌هاست؛ بنابراین بخش خرید، به دلیل سهم عملکرد تامین کننده در هزینه، کیفیت، تحویل و خدمات، می‌تواند نقش کلیدی در بهره‌وری و اثربخشی سازمان در دستیابی به اهداف زنجیره‌تامین ایفا کند. مساله انتخاب تامین کننده یک مساله چندهدفه است که همزمان معیارهای متعددی را برای انتخاب و ارزیابی تامین کنندگان لحاظ می‌کند. بنابراین نگاه برخی از مدل‌های کنترل موجودی که صرفاً اجزای هزینه‌ای را در مدل‌سازی چند تامین کننده در تابع هدف مساله خود لحاظ کرده‌اند نمی‌تواند به درستی پاسخگوی الزامات مساله انتخاب تامین کننده باشد و لازم است که اهداف متعدد دیگر نیز همزمان بررسی شود.

در خصوص مساله کلاسیک سفارش هم‌زمان اقلام نیز در گذشته عموماً به صورت تک تامین کننده مدل‌سازی شده است و بیشتر توجه محققین به مدل‌سازی حالات مختلف سفارش هم‌زمان اقلام، توسعه روش‌های حل مدل‌ها و تحلیل میزان صرفه‌جویی حاصل از سفارش هم‌زمان اقلام معطوف بوده است. اولین مدل‌هایی که ترکیب مساله سفارش هم‌زمان اقلام و مساله انتخاب تامین کننده را انجام دادند با عنوان مساله سفارش هم‌زمان اقلام با چند تامین کننده شناخته می‌شوند. مدل‌های توسعه یافته عموماً از یک هدف که در برگیرنده هزینه‌های موجودی بودند تشکیل می‌شد و عملاً مطلوبیت و معیارهای تامین کننده در آنها لحاظ نشده است. همچنین عمدہ تحقیقات انجام گرفته در خصوص ترکیب مساله سفارش هم‌زمان کالا با انتخاب تامین کننده در فضای قطعی تصمیم مدنظر واقع شده است.

بنابراین این تحقیق به دنبال پر کردن این شکاف تحقیق است و مساله چندهدفه سفارش هم‌زمان اقلام و انتخاب تامین کننده را در فضای تصمیم‌گیری فازی مورد ملاحظه قرار می‌دهد. عدم قطعیت می‌تواند در اهداف

یا پارامترها و یا هر دو رخ بدهد. در مدل حاضر، معیارهایی از قبیل هزینه سفارش و نگهداری، هزینه خرید، هزینه کالای معیوب و سطح کیفیت در توابع هدف و محدودیت‌هایی همچون بودجه خریدار، ظرفیت تامین کننده و ظرفیت انبارش خریدار، مدنظر قرار گرفته می‌شود. برای حل مدل فازی توسعه یافته از دو رویکرد برنامه‌ریزی آرمان فازی و همچنین رویکرد برنامه‌ریزی غیرخطی فازی اوزان معکوس استفاده شده و نتایج دو رویکرد باهم مقایسه شده‌اند. در ادامه به بررسی پیشینه تحقیق می‌پردازیم.

در ادامه مقاله و در بخش دوم مروری بر پیشینه تحقیق ارایه شده است. توسعه مدل و روش حل بر اساس هر دو رویکرد اوزان معکوس و برنامه‌ریزی آرمان در بخش سوم تشریح شده است. بخش چهارم به ارایه مثال عددی و تحلیل نتایج اختصاص دارد. درنهایت در بخش پنجم نتیجه‌گیری و پیشنهادهای تحقیقات آتی ارایه می‌شود.

## ۲ مروری بر پیشینه تحقیق

آکسوسی و ارنگوچ [۲] بررسی جامعی در مدل‌های موجودی چند کالایی با توجه هزینه‌های سفارش مشترک انجام دادند. هدف این مدل‌ها به طور معمول کمینه‌سازی هزینه کل برای اراضی تقاضا است و دو رویکرد اصلی مدل‌سازی گروه‌بندی مستقیم (DGS)<sup>۱</sup> و گروه‌بندی غیرمستقیم (IGS)<sup>۲</sup> در آن‌ها استفاده شده است. در استراتژی گروه‌بندی مستقیم، محصولات به تعداد مشخصی از مجموعه‌ها گروه‌بندی می‌شوند و محصولات هر گروه با سیکل زمانی مشترک سفارش داده می‌شوند. در استراتژی گروه‌بندی غیرمستقیم، یک سیکل سفارش پایه وجود دارد و هر محصول در ضریب صحیحی از سیکل پایه سفارش داده می‌شود. بنابراین گروه‌ها در استراتژی گروه‌بندی غیرمستقیم به صورت موقت تشکیل می‌شوند. معمولاً در هزینه سفارش دهی عمدۀ بالاتر استراتژی گروه‌بندی غیرمستقیم در مقایسه با استراتژی گروه‌بندی مستقیم عملکرد بهتری دارد [۳].

آرکین و همکاران [۴] نشان دادند که مساله سفارش همزمان اقلام یک مساله با پیچیدگی سخت<sup>۳</sup> است؛ بنابراین الگوریتمی که در یک زمان چند جمله‌ای بتواند این مساله را مخصوصاً در ابعاد بزرگ حل کند وجود ندارد. لذا در مقالات بسیاری، با استفاده از الگوریتم‌های فرا ابتکاری، روش‌های حل تقریبی برای مساله توسعه داده شده است. برای اولین بار گویا [۵] یک الگوریتم محاسباتی، با محاسبه حد بالا و پایین زمان سیکل پایه، برای مشخص کردن مینیمم‌های محلی و مینیمم کل ارایه داد. رویکرد گویا منجر به یافتن جواب بهینه برای این مساله می‌شد ولی ازلحاظ محاسباتی ممکن بود برای مسایل بزرگ به جواب نرسد. سیلور [۶] الگوریتمی کارا برای حل مساله سفارش همزمان اقلام ارایه داد که بعداً توسط گویا و بلتون [۷] بهبود داده شد و سپس توسط کسپی و روزنبلات [۸] توسعه بیشتری یافت. این الگوریتم شاید معروف‌ترین روش هیوریستیک در حل این مساله بوده و به نام الگوریتم RAND معروف است. اسلن [۹] بیان می‌کند که بیشتر مدل‌سازی‌های مساله سفارش همزمان اقلام بر اساس رویکرد گروه‌بندی غیرمستقیم انجام شده است. از این‌رو یک الگوریتم حل تکاملی بر اساس رویکرد مدل‌سازی گروه‌بندی مستقیم توسعه داده و آن را با بهترین الگوریتم‌های حل موجود مقایسه کرده

<sup>1</sup> Direct grouping strategy

<sup>2</sup> Indirect grouping strategy

<sup>3</sup> NP-hard

و در برخی از موارد نتایج بهتری کسب می‌کند. وانگ<sup>۱</sup> و همکاران [۱۰] یک الگوریتم تکاملی تفاضلی برای پیدا کردن جواب‌های تقریبی مساله سفارش همزمان پیشنهاد دادند و آن را با الگوریتم ژنتیک (GA)<sup>۱</sup> مقایسه کردند. یاو و همکاران [۱۱] مساله سفارش همزمان اقلام را در حالت چند مشتری مدل‌سازی کردند. مدل توسعه یافته بر اساس یک الگوریتم ژنتیک حل شده است. نوح و همکاران [۱۲] مساله سفارش همزمان اقلام را با تقاضای تصادفی و محدودیت حداقل اندازه سفارش با استفاده از رویکرد گروه‌بندی غیرمستقیم مدل‌سازی کردند.

رابطه نزدیک بین مدیریت موجودی و انتخاب تامین کننده محققان زیادی را برای توسعه مدل‌های یکپارچه تصمیم‌گیری در دو قلمرو مذکور برانگیخته است. کاربرد برنامه‌ریزی ریاضی در انتخاب تامین کننده اولین بار توسط گابالا [۱۳] استفاده شد. وی برای فرموله کردن مساله مینیمم‌سازی هزینه کل سفارش اقلام به فروشنده‌ها با لحاظ کردن تخفیف یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح آمیخته را به کار برد. قدسی پور و ابراین [۱۴] مدلی پیشنهاد دادند که انتخاب تامین کنندگان و تخصیص سفارش را یکپارچه می‌کرد. مون و همکاران [۱۵] به مدل‌سازی مساله سفارش همزمان اقلام با چند تامین کننده و لحاظ کردن تخفیف پرداختند. آن‌ها با لحاظ سیاست تامین تک منبعی بدون هرگونه محدودیت ظرفیت تامین کنندگان مدل خود را توسعه داده و برای حل آن یک الگوریتم ژنتیک ترکیبی را پیشنهاد دادند. رضایی و داودی [۱۶] بر اهمیت مدل‌سازی چند هدفه تاکید کردند و مدل انتخاب تامین کننده و تخصیص سفارش در چند دوره زمانی و چند محصولی را پیشنهاد دادند. آن‌ها برای حل مدل از الگوریتم ژنتیک استفاده کردند. لی و همکاران [۱۷] مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح آمیخته‌ای (MIP)<sup>۲</sup> برای حل مساله تخصیص سفارش به تامین کنندگان چندگانه در شرایط چند دوره زمانی و تخفیف پیشنهاد دادند. آن‌ها برای کردن جواب از الگوریتم ژنتیک استفاده کردند. محمدی تبار و قدسی پور [۱۸] مدلی برای مساله انتخاب تامین کننده و تخصیص سفارش با محدودیت ظرفیت را پیشنهاد دادند که سفارش همزمان موجودی کالا را با رویکرد گروه‌بندی مستقیم مورد توجه قرار می‌داد. برای حل مساله، الگوریتم شیوه‌سازی تبرید (SA)<sup>۳</sup> را پیشنهاد داده و آن را با الگوریتم اصلاح شده ژنتیک مقایسه کردند. چوبی و همکاران [۱۹] مساله سفارش هم زمان اقلام را با در نظر گرفتن سه نوع تخفیف شامل تخفیف کلی، تخفیف نموی و تخفیف بر مبنای کل خرید را توسعه دادند. برای حل مدل یک الگوریتم هیوریستیک توسعه داده و با استفاده از حل یک مثال عددی به تشریح نتایج خود پرداختند. آلفراس و تورنادی [۲۰] یک مدل تعیین اندازه انباشته با چند قلم کالا و چندین تامین کننده در دوره‌های مختلف را با لحاظ کردن تخفیف و کمبود توسعه دادند. مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح آمیخته توسعه داده شده در ابعاد کوچک به صورت بھینه حل شده است. برای ابعاد بزرگ‌گ مساله نیز دو روش تقریبی بر مبنای روش سیلور میل و همچنین الگوریتم ژنتیک توسعه داده شده است.

آیی و همکاران [۲۱] مساله سفارش همزمان اقلام با چند تامین کننده را با لحاظ کردن تخفیف برای اقلام فساد پذیر مدل‌سازی کردند. مدل توسعه یافته دارای پیچیدگی سخت بوده و با استفاده از روش‌های فرالبتکاری حل شده است. کانگ<sup>۴</sup> و همکاران [۲۲] مساله سفارش همزمان اقلام پویا را با چند تامین کننده و چند وسیله حمل

<sup>1</sup> Genetic algorithm<sup>2</sup> Mixed integer programming<sup>3</sup> Simulated annealing

مدل‌سازی کرده و با استفاده از الگوریتم فراتکاری حل کرده‌اند. آلفارس و همکاران [۲۳] به مدل‌سازی مساله تعیین اندازه انباشته سفارش چند دوره‌ای با چند تامین‌کننده بالحظ کردن تخفیف و امکان مواجهه با کمبود پرداختند. برای حل مدل از دو روش ابتکاری و فراتکاری استفاده کرده‌اند.

ویی و همکاران [۲۴] برنامه‌ریزی غیرخطی فازی اوزان معکوس را برای فرموله کردن مساله چندهدفه سفارش همزمان موجودی با کالاهای فسادپذیر پیشنهاد دادند. مساله چندهدفه فازی (FMOP)<sup>۱</sup> در سفارش همزمان موجودی در برخی مقالات دیگر هم مورد بررسی قرار گرفته است [۲۵-۲۹]. وانگ و همکاران [۳۰] تاکید کردند که اغلب تصمیم‌گیران با محدودیت‌های عملیاتی مبهمی مواجه می‌شوند و درنتیجه یک مدل مساله سفارش همزمان اقلام با هزینه‌های فازی سفارش‌دهی جزیی و نگهداری را توسعه دادند.

برنامه‌ریزی چند هدفه (MOP)<sup>۲</sup> یکی از روش‌های تصمیم‌گیری در محیط تصمیم‌گیری چندبعدی است. در یک مساله چندهدفه، تصمیم‌گیرنده سعی در بهبود همزمان دو و یا چند هدف تحت محدودیت‌های مختلف دارد. برای این مسایل به ندرت جواب بهینه کاملی وجود دارد و معمولاً جواب‌های بهینه پارتیی برای آن‌ها یافت می‌شود که توسط روش‌هایی از قبیل روش وزن‌دهی به اهداف تعیین می‌شوند [۳۱]. هنگام فرموله کردن یک مساله چند هدفه، عوامل مختلفی برای تشریح تابع هدف و محدودیت‌ها نیاز است که اغلب این عوامل غیرصریح و مبهم هستند. برنامه‌ریزی چندهدفه فازی پارامترهای مذبور را به طور مناسبی با اعداد فازی نشان می‌دهد.

انواع مختلفی از روش‌های چند هدفه فازی برای حل مسایل تصمیم‌گیری ارایه شده که شامل مقادیر فازی در پارامترهای تابع هدف و محدودیت‌ها می‌شوند. بسیاری از تحقیقات به دنبال تبدیل نمودن مساله چندهدفه فازی به برنامه‌ریزی قطعی هستند [۳۲-۳۳]. به عنوان نمونه، در ادامه برخی از تحقیقات اخیر مرتبط با مساله چندهدفه فازی مرور می‌شود. کومار و همکاران [۲۸] روش برنامه‌ریزی عدد صحیح چند هدفه فازی برای مساله انتخاب تامین‌کننده در زنجیره تامین توسعه دادند و سه تابع هدف حداقل‌سازی هزینه، حداکثرسازی کیفیت و حداکثرسازی تحويل به موقع را مدنظر قراردادند. عمید و همکاران [۲۵] مساله انتخاب تامین‌کننده در زنجیره تامین را با ایجاد مدل خطی چندهدفه فازی و کاربرد روش تصمیم‌گیری غیرمتقارن فازی حل کردند. هوانگ و همکاران [۳۴] سیاست سفارش‌دهی میان خریدار و فروشنده در شرایط اهداف و محدودیت‌های فازی را مدل‌سازی کرده‌اند.

در حل مدل برنامه‌ریزی چندهدفه فازی، برای پارامترهای فازی معمولاً توابع عضویت به صورت خطی در نظر گرفته می‌شوند. یک تابع عضویت خطی در محدوده تغییرات پارامتر دارای مقدار افزایشی یا کاهشی پیوسته هست و مقادیر حد پایین و بالای موردنسب برای پارامتر تعریف می‌شود. مدل چندهدفه سفارش همزمان اقلام و انتخاب تامین‌کننده در شرایط فازی می‌تواند به یک مساله تصمیم‌گیری فازی، تبدیل شده و به وسیله روش‌هایی مانند برنامه‌ریزی غیرخطی فازی (FNLP)<sup>۳</sup> و همچنین برنامه‌ریزی آرمانی فازی (FGP)<sup>۴</sup> حل شود. روی و مایتی

<sup>1</sup> Fuzzy multi objective programming

<sup>2</sup> Multi objective programming

<sup>3</sup> Fuzzy nonlinear programming

<sup>4</sup> Fuzzy goal programming

[۳۵] نشان دادند که روش برنامه‌ریزی غیرخطی فازی نسبت به برنامه‌ریزی آرمانی فازی روش کاراتری است. وی و همکاران [۲۴] با معرفی روش برنامه‌ریزی غیرخطی فازی وزن معکوس (IWFnLP)<sup>۱</sup> و لحاظ کردن نسبت معکوس اوزان، کارایی روش برنامه‌ریزی غیرخطی فازی را ارتقاء بخشیدند. نتایج آزمایش‌های گوناگون نشان داد که روش برنامه‌ریزی غیرخطی فازی اوزان معکوس می‌تواند جواب‌هایی تولید کند که در آن نسبت سطوح دسترسی اجزای فازی تا حد ممکن به نسبت وزن‌های تعیین شده نزدیک است.

### ۳ توسعه مدل و روش حل

در این بخش به توسعه مدل و روش حل مساله سفارش هم‌زمان اقلام با چند تامین کننده تحت شرایط اهداف و محدودیت‌های فازی می‌پردازیم. فرض کنید چندین تامین کننده وجود دارد که دارای محدودیت ظرفیت برای تامین اقلام می‌باشند و خریدار می‌بایست برای تأمین تقاضای موردنیاز خود به تخصیص سفارش به آن‌ها پردازد. خریدار دارای محدودیت ظرفیت انبار است. سفارش اقلام به تامین کنندگان دارای هزینه عمدہ و جزیی سفارش است. هزینه عمدہ سفارش به تنوع اقلام وابسته نیست در حالی که هزینه جزیی سفارش به ازای هر قلم کالایی که به یک تامین کننده سفارش داده می‌شود محاسبه می‌شود. فرض می‌شود که تمامی تقاضای خریدار پاسخ داده می‌شود. خریدار به دنبال بیشینه‌سازی مطلوبیت خرید اقلام سالم و کمینه کردن هزینه‌های مرتبط با موجودی اقلام و همچنین هزینه‌های خرید اقلام معیوب است. با توجه به این که بر اساس چیدمان اقلام در انبار و راهروهای میان قفسه‌ها، ظرفیت انبار به صورت قطعی مشخص نیست، ظرفیت انبار به صورت یک پارامتر فازی مثلثی مشخص می‌شود.

#### ۳-۱ مدل‌سازی مساله

با توجه به تعریف مساله، در ادامه به بیان دقیق مفروضات، پارامترها و متغیرها می‌پردازیم و مدل ریاضی مساله ارایه می‌شود.

##### مفروضات:

- تقاضای اقلام مستقل از هم است؛
- تامین کنندگان چندگانه وجود دارند و ظرفیت همه تامین کنندگان از مجموع تقاضای اقلام بیشتر است؛
- توابع هدف و فضای ذخیره‌سازی فازی هستند؛
- کمبود و تخفیف وجود ندارد؛
- رویکرد گروه‌بندی غیرمستقیم در مدیریت موجودی اقلام حاکم است؛
- بیشترین فضای ذخیره موردنیاز برابر مجموع اباشته‌های سفارش همه اقلام است؛
- هزینه سفارش عمدہ مستقل از حجم و تنوع اقلام هست؛
- هر قلم کالا می‌تواند از چند تامین کننده، تامین شود؛
- مدل چند‌هدفه هست.

<sup>۱</sup> Inverse weighted fuzzy nonlinear programming

برای توسعه مدل ابتدا به تعریف مجموعه‌ها و پارامترها می‌پردازیم.

### مجموعه‌ها و اندیس‌ها

$i$ : اندیس محصولات ( $i = 1, 2, \dots, m$ )

$j$ : اندیس تامین‌کنندگان ( $j = 1, 2, \dots, n$ )

### پارامترها

$A$ : هزینه عمد هسفارش

$a_{ij}$ : هزینه جزئی سفارش محصول  $i$  از تامین‌کننده  $j$

$h_i$ : هزینه نگهداری هر واحد محصول  $i$  در واحد زمان

$c_{ij}$ : هزینه خرید هر واحد محصول  $i$  از تامین‌کننده  $j$

$\pi_i$ : هزینه هر واحد کالای خراب  $i$

$D_i$ : تقاضای محصول  $i$  در واحد زمان

$\theta_{ij}$ : نرخ خرایی محصول  $i$  که توسط تامین‌کننده  $j$  تامین می‌شود

$v_i$ : فضای موردنیاز برای ذخیره هر واحد محصول  $i$

$V$ : حداکثر فضای در دسترس برای ذخیره (پارامتر فازی)

$L_{ij}$ : ظرفیت تامین‌کننده  $j$  برای محصول  $i$

$u_{ij}$ : مطلوبیت تصمیم‌گیرنده برای خرید کالای سالم  $i$  از تامین‌کننده  $j$

$w_{\tilde{C}_1}$ : اولویت وزنی تابع هدف مربوط به هزینه‌ها

$w_{\tilde{C}_2}$ : اولویت وزنی تابع هدف مربوط به مطلوبیت خرید

$w_V$ : اولویت وزنی محدودیت مربوط به فضای انبار

### متغیرهای نامنفی

$T$ : زمان سیکل پایه

$k_i$ : ضریب عدد صحیح مربوط به دوره سفارش محصول  $i$  ( $T_i = k_i T$ )

$X_{ij}$ : نسبتی از تقاضای کالای  $i$  که از تامین‌کننده  $j$  خریداری می‌شود

### متغیرهای صفر و یک

$y_{ij}$ : اگر محصول  $i$  از تامین‌کننده  $j$  خریداری شود برابر با یک است و در غیر این صورت برابر صفر است؛

$z$ : تصمین می‌کند حداقل یکی از محصولات زمان سیکل پایه داشته باشد یا به عبارتی حداقل یکی از مقادیر  $k_i$  مقداری برابر یک داشته باشد

### توابع هدف

$C_1(x_{ij}, T, k_i)$ : تابع هزینه خرید و سفارش محصول

$C_2(x_{ij})$ : تابع مطلوبیت خرید اقلام سالم از تامین‌کنندگان

~ نشان‌دهنده فازی بودن پارامتر و تابع هدف

## مدل ریاضی

به دلیل عدم قطعیت فضای تصمیم گیری طبیعی است که اهداف را غیر صلب و منعطف فرض کنیم. مقادیر سمت راست نیز ممکن است به صورت غیر قطعی مطرح شوند. درنتیجه مدل ریاضی چند هدفه فازی مساله سفارش هم زمان محصولات با در نظر گرفتن انتخاب تامین کنندگان به شکل زیر خواهد بود:

$$\text{Min } C_i(x_{ij}, T, k_i) = \frac{A + \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \left( \frac{a_{ij} y_{ij}}{k_i} \right)}{T} + \frac{1}{\gamma} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n D_i x_{ij} k_i T h_i \quad (1)$$

$$+ \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n D_i c_{ij} (1 - \theta_{ij}) x_{ij} + \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n D_i \pi_i \theta_{ij} x_{ij}$$

$$\text{Max } C_r(x_{ij}) = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n u_{ij} (1 - \theta_{ij}) D_i x_{ij} \quad (2)$$

s.t.

$$D_i x_{ij} \leq L_{ij} \cdot y_{ij} \quad \forall i = 1, \dots, m; j = 1, \dots, n \quad (3)$$

$$\sum_{i=1}^m v_i D_i x_{ij} k_i T \leq \tilde{V} \quad (4)$$

$$\sum_{j=1}^n (1 - \theta_{ij}) x_{ij} = 1 \quad \forall i = 1, \dots, m \quad (5)$$

$$\sum_{i=1}^m z_i k_i = 1 \quad (6)$$

$$\sum_{i=1}^m z_i = 1 \quad (7)$$

$$x_{ij} \leq 1 \quad \forall i = 1, \dots, m; j = 1, \dots, n \quad (8)$$

$$T, x_{ij} \geq 0 \quad \forall i = 1, \dots, m; j = 1, \dots, n \quad (9)$$

$$y_{ij}, z_i \in \{0, 1\} \quad \forall i = 1, \dots, m; j = 1, \dots, n \quad (10)$$

$$k_i \in \text{اعداد صحیح مثبت} \quad \forall i = 1, \dots, m \quad (11)$$

تابع هدف (1) بیان کننده مجموع هزینه های عمدۀ سفارش، جزیی سفارش، نگهداری، خرید اقلام سالم و اقلام معیوب است. تابع هدف (2) مطلوبیت خرید اقلام سالم از تامین کنندگان است. محدودیت (3) تصمیم می کند که مقدار خرید هر قلم کالا از یک تامین کننده از ظرفیت آن فراتر نرود. محدودیت (4) مربوط به حداکثر فضای انبار خریدار است. محدودیت (5) در ارتباط با تامین کل تقاضای هر قلم کالا توسط تامین کنندگان است. محدودیت های (7)-(6) تصمیم می کنند که سیکل سفارش حداقل یکی از اقلام برابر سیکل سفارش پایه باشد. محدودیت (8) تصمیم می کند که نسبت میزان سفارش به هر تامین کننده از تقاضای کل عددی کمتر یا مساوی یک باشد. محدودیت های (11)-(9) نوع متغیرهای تصمیم را مشخص می کند. در ادامه به بیان روش حل مدل می پردازیم.

### ۳-۲ ارایه روش حل

از آنجایی که اهداف و محدودیت فضای انبار فازی می‌باشند، می‌بایست حد بالا و پایینی برای آن‌ها یافت که بر اساس این حدود توابع عضویت آن‌ها به دست می‌آید. برای این منظور دو رویکرد وجود دارد. در رویکرد اول تصمیم‌گیر می‌تواند محدوده‌های قابل قبول ذهنی برای توابع اهداف و محدودیت‌ها تعریف کند. در رویکرد دوم، مقادیر خوش‌بینانه و بدینانه هر کدام از اهداف با بیشینه‌سازی و کمینه‌سازی مستقل هر کدام از آن‌ها در فضای محدودیت‌های مساله به دست می‌آید و پایین‌ترین و بالاترین حد توابع هدف مشخص می‌شود. در این تحقیق فرض می‌کنیم که حد بالا ( $V^U$ ) و پایین ( $V^L$ ) محدودیت فضای انبار توسط تصمیم‌گیرنده مشخص شده است و برای تعیین حد بالا و پایین اهداف از مسایل بهینه‌سازی استفاده می‌کنیم. بدین ترتیب، حد بالای تابع هدف  $C_1$  از طریق حل مساله بدینانه بهینه‌سازی زیر به دست می‌آید. برای این که حد بالای تابع هدف  $C_1$  نامحدود نشود، باید برای سیکل پایه یک حد پایین مشخص کنیم. با توجه به این که در عمل نیز فاصله میان دو سفارش متوازی نمی‌تواند بسیار کوچک و نزدیک به صفر باشد، انتخاب یک حد پایین برای سیکل سفارش پایه از نظر کاربردی نیز قابل قبول است.

$$C_1^U = \text{Max } C_1(x_{ij}, T, k_i) \quad (12)$$

s.t.

$$\sum_{i=1}^m v_i D_i k_i T \leq V^U \quad (13)$$

محدودیت‌های (۱۱)-(۵)

حد پایین تابع هدف  $C_1$  از حل مساله خوش‌بینانه زیر تعیین می‌شود.

$$C_1^L = \text{Min } C_1(x_{ij}, T, k_i) \quad (14)$$

s.t.

محدودیت‌های (۱۱)-(۵) و (۱۳)

با توجه به اینکه بیشینه‌سازی تابع هدف دوم موردنظر است، حد بالای آن از طریق حل مساله خوش‌بینانه زیر تعیین می‌شود.

$$C_2^U = \text{Max } C_2(x_{ij}) \quad (15)$$

s.t.

محدودیت‌های (۱۱)-(۵) و (۱۳)

به طریق مشابه، حد پایین تابع هدف دوم از طریق حل مساله بدینانه زیر به دست می‌آید.

$$C_2^L = \text{Min } C_2(x_{ij}) \quad (16)$$

s.t.

محدودیت‌های (۱۱)-(۵) و (۱۳)

با محاسبه حدود بالا و پایین اهداف و محدودیت فضای انبار، تابع عضویت فازی هر کدام از آن‌ها تعیین می‌شود.

با توجه به این که کمینه‌سازی تابع هدف اول و بیشینه‌سازی تابع هدف دوم مدنظر بوده و فضای انبار از جنس منبع کمیاب هست، بنابراین تابع عضویت آن‌ها به شکل زیر خواهد بود:

$$\mu_{\tilde{C}_i} = \begin{cases} 1 & C_i < C_i^L \\ \frac{C_i^U - C_i}{C_i^U - C_i^L} & C_i^L \leq C_i \leq C_i^U \\ 0 & C_i > C_i^U \end{cases} \quad (17)$$

$$\mu_{\tilde{C}_r} = \begin{cases} 0 & C_r < C_r^L \\ \frac{C_r - C_r^L}{C_r^U - C_r^L} & C_r^L \leq C_r \leq C_r^U \\ 1 & C_r > C_r^U \end{cases} \quad (18)$$

$$\mu_{\tilde{V}} = \begin{cases} 1 & V < V^L \\ \frac{V^U - V}{V^U - V^L} & V^L \leq V \leq V^U \\ 0 & V > V^U \end{cases} \quad (19)$$

تصمیم‌گیرنده برای هر کدام از اهداف و محدودیت فازی، وزنی را تعیین می‌کند که نشان‌دهنده میزان تمایل او برای برآورده شدن مطلوب‌تر آن هدف یا محدودیت است. فرض کنید که مقادیر قطعی مثبت  $w_{\tilde{C}_i}$  و  $w_{\tilde{C}_r}$  به ترتیب نشان‌دهنده وزن تابع هدف اول و دوم و محدودیت فضای انبار است بهنحوی که مجموع آن‌ها برابر یک می‌شود. با مشخص شدن توابع عضویت پارامترها و اهداف فازی دو رویکرد مدل‌سازی قطعی IWFNLP و FGP برای یافتن جواب مساله به کار گرفته می‌شود که در ادامه شرح داده شده است.

### ۳-۲-۱ روش اوزان معکوس فازی

این روش در ابتدا توسط روی و مایتی [۳۵] بر اساس روش برنامه‌ریزی خطی زیمرمن [۳۶] و لی و لای [۳۷] توسعه داده شد. سپس توسط وی و همکاران [۲۴] با به کار گیری اوزان معکوس در مدل بهبود پیدا کرد. این روش مبتنی بر روش حداکثر حداقل است. بدین صورت که حداقل توابع عضویت عوامل فازی را حداکثر می‌نماییم. اولویت‌های تصمیم‌گیر در این روش در محدودیت‌ها بروز پیدا می‌کند. اوزان معکوس هر کدام از اهداف و محدودیت فضای انبار از رابطه زیر محاسبه می‌شود.

$$IW_r = \frac{1/W_r}{\sum_r 1/W_r} \quad \forall r \in \{\tilde{C}_i, \tilde{C}_r, \tilde{V}\} \quad (20)$$

درنتیجه مدل‌سازی فازی مساله منجر به مساله بهینه‌سازی قطعی زیر می‌شود.

$$\text{Max } \lambda \quad (21)$$

s.t.

$$IW_{\tilde{C}_i} \left( \frac{C_i^U - C_i(x_{ij}, T, k_i)}{C_i^U - C_i^L} \right) \geq \lambda \quad (22)$$

$$IW_{\tilde{C}_r} \left( \frac{C_r(x_{ij}) - C_r^L}{C_r^U - C_r^L} \right) \geq \lambda \quad (23)$$

$$IW_{\tilde{V}} \left( \frac{V^U - \sum_{i=1}^m v_i D_i x_{ij} k_i T}{V^U - V^L} \right) \geq \lambda \quad (24)$$

$$\cdot \leq \left( \frac{C_i^U - C_i(x_{ij}, T, k_i)}{C_i^U - C_i^L} \right) \leq 1 \quad (25)$$

$$\cdot \leq \left( \frac{C_r(x_{ij}) - C_r^L}{C_r^U - C_r^L} \right) \leq 1 \quad (26)$$

$$\cdot \leq \left( \frac{V^U - \sum_{i=1}^m v_i D_i x_{ij} k_i T}{V^U - V^L} \right) \leq 1 \quad (27)$$

محدودیت‌های (۱۱)-(۵)

### ۲-۲-۳ برنامه‌ریزی آدمانی فازی

این روش توسط تیواری و همکاران [۳۸] ارایه شد و مبتنی بر حداکثرسازی ترکیب وزنی توابع عضویت بنا شده است. به عبارت دیگر، اولویت‌های تصمیم گیر در تابع هدف مساله بروز پیدا می‌کند و توابع هدف در قالب توابع عضویت در محدودیت‌ها قرار می‌گیرد. در این روش وقتی تابع هدف مساله به بیشینه خود برسد درواقع توابع عضویت بر اساس اولویتی که تصمیم گیر مشخص می‌نماید به حداکثر مقدار خود می‌رسند و این بدین معناست که توابع هدف متناظر آن‌ها به حداکثر سطح بھینه خود رسیده‌اند. درنتیجه مدل‌سازی مساله به صورت زیر خواهد شد.

$$\text{Max } w_{\tilde{C}_i} \left( \frac{C_i^U - C_i(x_{ij}, T, k_i)}{C_i^U - C_i^L} \right) + w_{\tilde{C}_r} \left( \frac{C_r(x_{ij}) - C_r^L}{C_r^U - C_r^L} \right) + w_{\tilde{V}} \left( \frac{V^U - \sum_{i=1}^m v_i D_i x_{ij} k_i T}{V^U - V^L} \right) \quad (28)$$

s.t.

محدودیت‌های (۱۱)-(۵) و (۲۵)-(۲۷)

### ۴ تحلیل نتایج با استفاده از مثال عددی

به منظور تحلیل نتایج و مقایسه روش‌های FAGP و IWFNLP به حل یک مثال عددی در نرم‌افزار GAMS گمز می‌پردازیم. فرض کنید ۵ قلم کالا و ۳ تامین‌کننده وجود دارد. هزینه عمده سفارش به تامین‌کننده‌گان برابر ۶۰۰ است. حد بالا و پایین فضای انبار به ترتیب برابر ۲۰ و ۱۰ است. اوزان مربوط به اهداف اول و دوم و محدودیت فضای انبار به ترتیب برابر ۰/۶۵، ۰/۰۲ و ۰/۱۵ است. باقی پارامترهای مساله در جدول ۱ داده شده است.

جدول ۱. پارامترهای مثال عددی

$u_{ij}$	$c_{ij}$	$\theta_{ij}$	$s_{ij}$	$L_{ij}$	$\pi_i$	$h_i$	$v_i$	$D_i$	$i$
$j=1 \ j=2 \ j=3$									
۰/۳ ۰/۲ ۰/۵	۱۴ ۱۷ ۱۳	۰/۰۳ ۰/۰۵ ۰/۰۴	۵۰ ۶۰ ۴۰	۱۰۰ ۱۵۰ ۱۳۰	۴	۲	۱	۲۰۰	۱
۰/۱ ۰/۴ ۰/۵	۲۵ ۲۴ ۲۶	۰/۰۳ ۰/۰۵ ۰/۰۷	۱۵۰ ۱۲۰ ۱۶۰	۳۰ ۲۵ ۶۰	۶	۳	۰/۵	۸۰	۲
۰/۴ ۰/۳ ۰/۴	۱۰ ۹ ۱۱	۰/۰۴ ۰/۰۶ ۰/۰۵	۸۰ ۹۰ ۶۰	۳۰۰ ۲۵۰ ۴۰۰	۳	۱/۵	۰/۷۵	۶۰	۳
۰/۱ ۰/۴ ۰/۵	۹۰ ۸۵ ۸۸	۰/۰۲ ۰/۰۳ ۰/۰۴	۲۰۰ ۱۵۰ ۱۸۰	۳۰ ۲۵ ۴۰	۱۸	۱۰	۱/۲	۵۰	۴
۰/۲ ۰/۴ ۰/۴	۹۰ ۸۸ ۷۱	۰/۰۳ ۰/۰۴ ۰/۰۱	۶۰ ۵۰ ۳۰	۸۰ ۹۰ ۶۰	۱۶	۸	۰/۹	۱۵۰	۵

برای پیدا کردن حدود بالا و پایین توابع هدف، کمترین مقدار سیکل پایه را برابر  $0/01$  در نظر می‌گیریم. مقادیر حد بالا و پایین توابع هدف از حل مدل‌های مربوط به آنها در نرم افزار GAMS محاسبه شده و در جدول ۲ نشان داده شده است.

جدول ۲. حد بالا و پایین توابع هدف

	هدف دوم	هدف اول
حد بالا	۲۲۹/۴۰۵	۲۳۱۹۵۶/۰۲۶
حد پایین	۱۴۵/۷۵۵	۶۰۹۳۳/۴۱۷

بر اساس حدود به دست آمده برای توابع و حل مدل در نرم افزار GAMS، مقادیر متغیرهای تصمیم تعیین گردید. سیکل پایه در مدل‌های FGP و IWFNLP به ترتیب برابر  $0/024$  و  $0/029$  به دست آمد. مقادیر سفارش به تامین کنندگان در هر دو رویکرد مدل‌سازی به جواب مشابه رسید که در جدول ۳ نشان داده شده است.

جدول ۳. مقدار سفارش به تامین کنندگان و سیکل سفارش اقلام

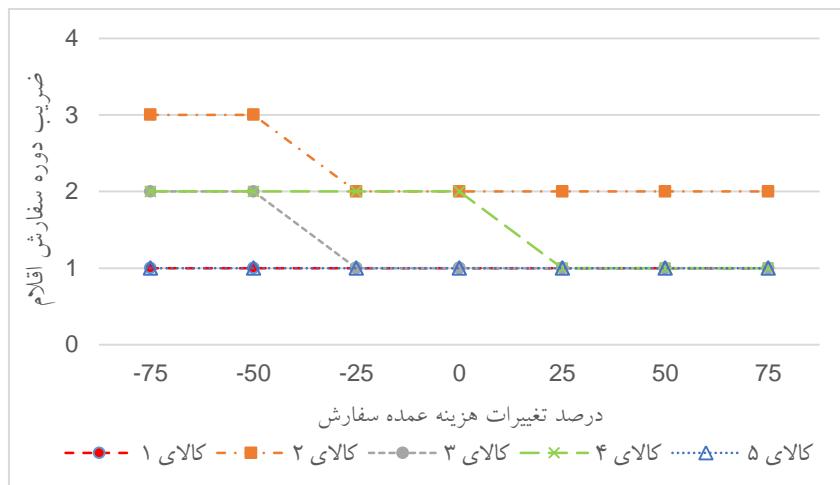
$x_{ij}$	$j=1$	$j=2$	$j=3$	$k_i$	$i$
۰/۳۸۸	۰	۰/۶۵	۱	۱	
۰/۰۰۶	۰/۳۱۲	۰/۷۵	۲	۲	
۰	۰/۰۵۳	۱	۱	۳	
۰	۰/۲۳۹	۰/۸	۲	۴	
۰/۰۲۹	۰/۶	۰/۴	۱	۵	

بر اساس وی و همکاران [۲۴]، برای سنجش عملکرد روش‌های حل از شاخص  $W/\mu$  استفاده می‌کنیم. بر این اساس، روشی ازلحاظ عملکرد بهتر است که مقدار این شاخص برای تمام عوامل فازی مساله نزدیک به هم و در حالت ایده‌آل برابر باشد. به عبارت دیگر سطح دسترسی (تابع عضویت) مشخص کننده اولویت تصمیم‌گیرنده ( $W$ ) در خصوص آن‌ها باشد. جدول ۴ نشان می‌دهد که روش برنامه‌ریزی IWFNLP عملکرد نسبتاً بهتری در مقایسه با روش FAGP دارد.

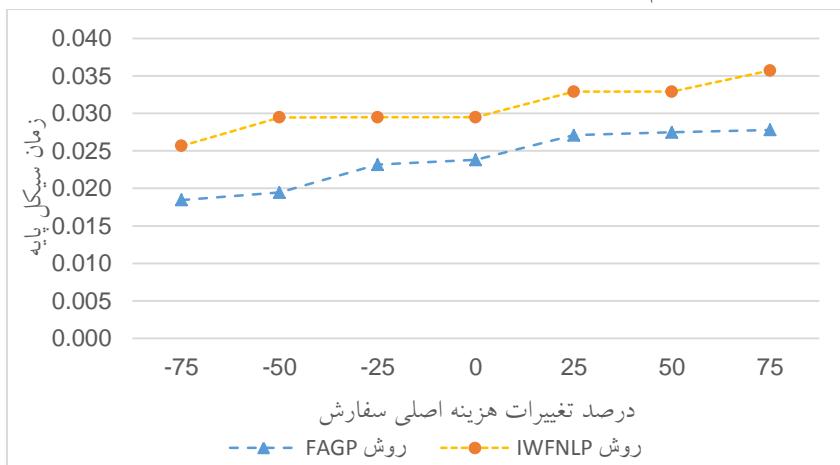
جدول ۴. مقایسه دو روش FGP و IWFNLP

روش حل	$\mu_{\bar{c}_1}/w_{\bar{c}_1}$	$\mu_{\bar{c}_2}/w_{\bar{c}_2}$	$\mu_{\bar{v}}/w_{\bar{v}}$	هدف اول	هدف دوم	فضای اتبار
FGP	۰/۸۹۴	۰/۹۹۶	۴/۹۸	۰/۵۵۸	۷۹۰/۹۸/۳۸۷	۲۹۹/۱۰۵
IWFNLP	۰/۹۷۱	۰/۸۷۶	۴/۱۸	۰/۲۲۴	۶۵۸۳۲/۰۲۲	۲۱۹/۰۵۵

برای تحلیل حساسیت نتایج، به بررسی تاثیر هزینه عمدہ سفارش بر سیکل سفارش اقلام می‌پردازیم. همان‌طور که در شکل ۱ نشان داده شده است با افزایش هزینه عمدہ سفارش سیکل سفارش پایه افزایش پیدا کرده است. به بیان دیگر مدل تلاش می‌کند تا تعداد دفعات سفارش عمدہ را کاهش دهد. همچنین همان‌طور که در شکل ۲ نشان داده شده است، با افزایش هزینه عمدہ سفارش ضرایب سیکل سفارش اقلام کاهش پیدا کرده است. به عبارت دیگر با افزایش هزینه عمدہ سفارش مدل تلاش می‌کند تا با بزرگ‌تر کردن سیکل سفارش پایه هزینه کمتری از بابت هزینه عمدہ سفارش بپردازد و از طرف دیگر با کاهش ضریب سیکل سفارش اقلام، از افزایش بی‌رویه هزینه نگهداری آن‌ها نیز جلوگیری کند.



شکل ۱. تغییرات ضرایب دوره سفارش اقلام با تغییرات هزینه عمدہ سفارش



شکل ۲. مقادیر سیکل پایه سفارش با تغییرات هزینه عمدہ سفارش

## ۵ نتیجه‌گیری و پیشنهادهای آتی

در این مقاله یک مدل ریاضی توسعه داده شد که به صورت هم‌زمان به انتخاب تامین‌کننده با اهداف مختلف و همچنین سفارش همزمان اقلام متعدد در محیط فازی می‌پردازد. مدل بر اساس رویکرد گروه‌بندی غیرمستقیم توسعه یافته که در آن یک سیکل پایه سفارش تعیین می‌شود و هر قلم کالا در ضریب صحیحی از سیکل پایه سفارش داده می‌شود. با توجه به پارامترهای فازی برای حل مساله از روش‌های برنامه‌ریزی غیرخطی فازی با اوزان

معکوس و برنامه ریزی آرمان فازی استفاده شد. با استفاده از حل یک مثال عددی و شاخص نسبت تابع عضویت به وزن اهداف یا محدودیت‌ها، عملکرد دو روش حل باهم مقایسه شد که نشان داد عملکرد روش اوزان معکوس مطلوب‌تر است و عضویت اهداف و محدودیت‌ها تناسب بیشتری با وزن آنها دارد. تحلیل حساسیت مدل نشان داد که با افزایش هزینه عمدۀ سفارش طول زمان سیکل سفارش پایه افزایش پیدا کرده و ضرایب مربوط به سیکل سفارش اقلام به هم نزدیک‌تر می‌شود. درنتیجه هرچقدر که هزینه‌های عمدۀ سفارش بزرگ‌تر باشد، اباسته‌های بزرگ‌تری سفارش داده می‌شود و همچنین اقلام بیشتری در یک سفارش قرار می‌گیرند. از جمله مزایای مدل و روش حل ارایه شده در این مقاله می‌توان به امکان لحاظ کردن اهداف مختلف انتخاب تامین کننده، در نظر گرفتن عدم قطعیت پارامترها به صورت فازی و سادگی رویکرد حل اشاره کرد. اگرچه به دلیل ماهیت مساله سفارش همزمان اقلام که دارای پیچیدگی زمانی سخت است حل مساله در ابعاد بزرگ نیازمند روش‌های فراتکاری است که به عنوان زمینه تحقیقات آتی پیشنهاد می‌شود. همچنین برای مطالعات آتی پیشنهاد می‌شود از رویکرد گروه‌بندی مستقیم نیز استفاده شود و پارامترهای دیگری از مدل تحت شرایط فازی در نظر گرفته شود.

## منابع

- [1] Tsai, C.-Y., C.-Y. Tsai, and P.-W., (2009). Huang, An association clustering algorithm for can-order policies in the joint replenishment problem. *International Journal of Production Economics*, 117(1), 30-41.
- [2] Aksoy, Y. and S. Selcuk Erenguc, (1988). Multi-item inventory models with co-ordinated replenishments: a survey. *International Journal of Operations & Production Management*, 8(1), 63-73.
- [3] Van Eijs, M., R.M.J. Heuts, and J.P.C. Kleijnen, (1992). Analysis and comparison of two strategies for multi-item inventory systems with joint replenishment costs. *European Journal of Operational Research*, 59(3), 405-412.
- [4] Arkin, E., D. Joneja, and R. Roundy, (1989). Computational complexity of uncapacitated multi-echelon production planning problems. *Operations research letters*, 8(2), 61-66.
- [5] Goyal, S.K., (1974). Determination of optimum packaging frequency of items jointly replenished. *Management Science*, 21(4), 436-443.
- [6] Silver, E.A., (1976). A simple method of determining order quantities in joint replenishments under deterministic demand. *Management Science*, 22(12), 1351-1361.
- [7] Goyal, S. and A. Belton, (1986). Note on " a simple method of determining order quantities in joint replenishments under deterministic demand". *Management Science*, 25(6), 1979, 604.
- [8] Kaspi, M. and M.J. Rosenblatt, (1983). An improvement of Silver's algorithm for the joint replenishment problem. *AIIE Transactions*, 15(3), 264-267.
- [9] Olsen, A.L., (2005). An evolutionary algorithm to solve the joint replenishment problem using direct grouping. *Computers & Industrial Engineering*, 48(2), 223-235.
- [10] Wang, L., J. He, and Y.R. Zeng, (2012). A differential evolution algorithm for joint replenishment problem using direct grouping and its application. *Expert Systems*, 29(5), 429-441.
- [11] Yao, M. J., Lin, J. Y., Lin, Y. L., & Fang, S. C. (2020). An integrated algorithm for solving multi-customer joint replenishment problem with districting consideration. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 138, 101896.
- [12] Noh, J. S., Kim, J. S., & Sarkar, B. (2019). Stochastic joint replenishment problem with quantity discounts and minimum order constraints. *Operational Research*, 19(1), 151-178.
- [13] Gaballa, A., (1974). Minimum cost allocation of tenders. *Journal of the Operational Research Society*, 25(3), 389-398.
- [14] Ghodsypour, S.H. and C. O'brien, (2001). The total cost of logistics in supplier selection, under conditions of multiple sourcing, multiple criteria and capacity constraint. *International journal of*

- production economics, 73(1), 15-27.
- [15] Moon, I., S. Goyal, and B. Cha, (2008). The joint replenishment problem involving multiple suppliers offering quantity discounts. *International Journal of Systems Science*, 39(6), 629-637.
  - [16] Rezaei, J. and M. Davoodi, (2011). Multi-objective models for lot-sizing with supplier selection. *International Journal of Production Economics*, 130(1), 77-86.
  - [17] Lee, A.H., et al., (2013). An integrated model for lot sizing with supplier selection and quantity discounts. *Applied Mathematical Modelling*, 37(7), 4733-4746.
  - [18] Mohammaditabar, D. and S.H. Ghodsypour, (2016). A supplier-selection model with classification and joint replenishment of inventory items. *International Journal of Systems Science*, 47(8), 1745-1754.
  - [19] Cui, L., Zhang, Y., Deng, J., & Xu, M. (2018). A novel multi-item joint replenishment problem considering multiple type discounts. *PloS one*, 13(6), e0194738.
  - [20] Alfares, H. K., & Turnadi, R. (2018). Lot sizing and supplier selection with multiple items, multiple periods, quantity discounts, and backordering. *Computers & Industrial Engineering*, 116, 59-71.
  - [21] Ai, X., Yue, Y., Xu, H., & Deng, X. (2021). Optimizing multi-supplier multi-item joint replenishment problem for non-instantaneous deteriorating items with quantity discounts. *Plos one*, 16(2), e0246035.
  - [22] Kang, H. Y., Lee, A. H., Wu, C. W., & Lee, C. H. (2017). An efficient method for dynamic-demand joint replenishment problem with multiple suppliers and multiple vehicles. *International Journal of Production Research*, 55(4), 1065-1084.
  - [23] Alfares, H. K., & Turnadi, R. (2018). Lot sizing and supplier selection with multiple items, multiple periods, quantity discounts, and backordering. *Computers & Industrial Engineering*, 116, 59-71.
  - [24] Wee, H.-M., C.-C. Lo, and P.-H. Hsu, (2009). A multi-objective joint replenishment inventory model of deteriorated items in a fuzzy environment. *European Journal of Operational Research*, 197(2), 620-631.
  - [25] Amid, A., S. Ghodsypour, and C. O'Brien, (2006). Fuzzy multiobjective linear model for supplier selection in a supply chain. *International Journal of production economics*, 104(2), 394-407.
  - [26] Araz, C., P.M. Ozfirat, and I. Ozkarahan, (2007). An integrated multicriteria decision-making methodology for outsourcing management. *Computers & Operations Research*, 34(12), 3738-3756.
  - [27] Kumar, M., P. Vrat, and R. Shankar, (2004). A fuzzy goal programming approach for vendor selection problem in a supply chain. *Computers & industrial engineering*, 46(1), 69-85.
  - [28] Kumar, M., P. Vrat, and R. Shankar, (2006). A fuzzy programming approach for vendor selection problem in a supply chain. *International Journal of Production Economics*, 101(2), 273-285.
  - [29] Lam, S. and L. Tang, (2006). Multiobjective vendor allocation in multiechelon inventory systems: a spreadsheet model. *Journal of the Operational Research Society*, 57(5), 561-578.
  - [30] Wang, L., et al., (2013). Model and algorithm of fuzzy joint replenishment problem under credibility measure on fuzzy goal. *Knowledge-Based Systems*, 39, 57-66.
  - [31] Rosenthal, R.E., (1985). Concepts, theory, and techniques principles of multiobjective optimization. *Decision Sciences*, 16(2), 133-152.
  - [32] Lai, Y.-J. and C.-L. Hwang, (1994). Fuzzy multiple objective decision making, in *Fuzzy Multiple Objective Decision Making*. Springer. 139-262.
  - [33] Wu, F., J. Lu, and G. Zhang, (2006). A new approximate algorithm for solving multiple objective linear programming problems with fuzzy parameters. *Applied Mathematics and Computation*, 174(1), 524-544.
  - [34] Huang, Y. D., Wee, H. M., Praharshi, Y., & Lo, C. C. (2019). An integrated vendor-buyer replenishment policy for deteriorating items with fuzzy environment and resource constraint. *INFOR: Information Systems and Operational Research*, 57(4), 667-691.
  - [35] Roy, T. and M. Maiti, (1998). Multi-objective inventory models of deteriorating items with some constraints in a fuzzy environment. *Computers & operations research*, 25(12), 1085-1095.
  - [36] Zimmermann, H.-J., (1978). Fuzzy programming and linear programming with several objective functions. *Fuzzy sets and systems*, 1(1), 45-55.
  - [37] Lee, E.S. and R.J. Li, (1993). Fuzzy multiple objective programming and compromise programming with Pareto optimum. *Fuzzy sets and systems*, 53(3), 275-288.
  - [38] Tiwari, R., S. Dharmar, and J. Rao, (1987). Fuzzy goal programming—an additive model. *Fuzzy sets and systems*, 24(1), 27-34.